

Dynamischer Test von Kollektoren

S. Fischer, E. Hahne

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)

Prof. Dr.-Ing. E. Hahne

Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart

Tel.: 0711/685-3536 Fax: 0711/685-3242

1 Einleitung

Unter dem dynamischen Test von Kollektoren, im folgenden DCT (Dynamic Collector Test)-Verfahren genannt, versteht man die Ermittlung der Leistungskennwerte eines Kollektors aus Meßdaten, die unter nichtstationären Bedingungen gewonnen wurden. Das Verfahren ist als Erweiterung der Standard-Kollektortestverfahren nach DIN 4757, Teil 4 /1/ bzw. ISO 9806, Teil 1 /2/ (im folgenden stationäre Kollektortestverfahren genannt) zu verstehen, bei der die Beschränkung der Meßperioden insbesondere auf Zeiten annähernd senkrechten Strahlungseinfalls und wolkenfreien Himmels aufgehoben werden kann.

Die Vorteile des DCT-Verfahrens sind:

- Eine Verkürzung der Meßdauer und somit eine Kostenreduktion des Kollektortests.
- Eine umfassendere Charakterisierung des thermischen Verhaltens des Kollektors, da auch kapazitive Effekte und der Einfluß des Einfallswinkels der Solarstrahlung sowie die Diffusstrahlung bei der Auswertung berücksichtigt werden.
- Da keine stationären Bedingungen gefordert sind, eignet sich das Verfahren auch für sogenannte *in situ* Messungen, d.h. für Messungen an Kollektoren oder Kollektorfeldern von installierten Anlagen vor Ort.

Derzeit werden verschiedene Ansätze für das Verfahren diskutiert, die sich im wesentlichen durch die verwendeten Rechenmodelle zur Beschreibung des thermischen Verhaltens des Kollektors und die Algorithmen zur Kennwertbestimmung (Parameteridentifikation) unterscheiden. Um eine internationale Anerkennung des Verfahrens in Form eines Standards zu erzielen, sind die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Ergebnisse nachzuweisen. Weiter ist eine geeignete Testprozedur festzulegen. Ein erster Normentwurf wurde dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) und der International Standardisation Organisation (ISO) vorgelegt.

2 Beschreibung des Testverfahrens

Der grundlegende Unterschied des DCT-Verfahrens gegenüber den stationären Kollektortestverfahren liegt in der Erweiterung der Meßbedingungen auf instationäre Zustände. Insbesondere sind zeitliche Veränderungen der Bestrahlungsstärke (z.B. durch veränderliche Bewölkung) und der Kollektoreintrittstemperatur zugelassen.

Innerhalb der IEA Task XIV, *Dynamic Component and System Testing Group* wird eine Testprozedur für den dynamischen Kollektortest von Kollektoren auf dem Außenteststand

vorgeschlagen /3/. Die Testprozedur besteht aus mehreren einzelnen Meßsequenzen. Die Testsequenzen sind so gestaltet, daß eine ausreichende Variabilität der Eintrittsgrößen gewährleistet ist.

Für jede Testsequenz werden Anforderungen an die zeitlichen Mittelwerte der Bestrahlungsstärke in Kollektorebene E_{hem} , der Windgeschwindigkeit in Kollektorebene v_W sowie an den durchlaufenen Bereich des Einfallswinkels der Solarstrahlung Θ gestellt. Die Eintrittstemperatur am Kollektor ϑ_i wird während einer Meßsequenz konstant gehalten (Standardabweichung $\sigma(\vartheta_i) < 0.1 \text{ K}$). Durch die Konstanz der Eintrittstemperatur können bei Meßsequenzen mit geeigneten Strahlungsbedingungen auch Auswertungen nach DIN 4757, Teil 4 erfolgen.

Es sind fünf Testsequenzen mit hoher Bestrahlungsstärke (HIT 0 bis HIT 4, HIT = High Irradiance Tests) vorgesehen. Falls der Einfluß der Windgeschwindigkeit mit in Betracht gezogen wird sind zwei weitere Testsequenzen mit hoher Bestrahlungsstärke, hoher Kollektortemperatur und einer Variation der Windgeschwindigkeit (HIT4LW, HIT4HW) anzuwenden. Weiter werden zwei Tests mit niedriger Einstrahlung (LIT1, LIT2, LIT = Low Irradiance Test) vorgeschlagen. Abb. 1 zeigt die Verteilung der Testsequenzen über den Eintrittsgrößen.

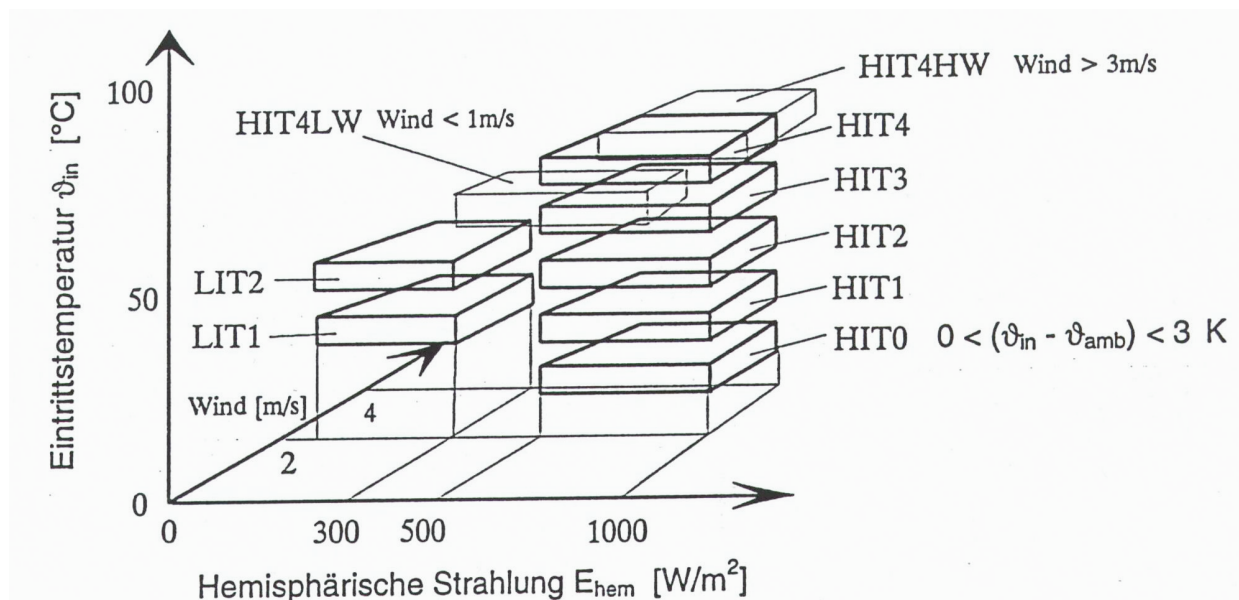


Abb.1: Verteilung der Testsequenzen über die Eintrittsgrößen E_{hem} , ϑ_i und v_W

Die Testsequenzen mit hoher Bestrahlungsstärke dienen im wesentlichen zur Bestimmung des Konversionsfaktors, des effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten sowie des Einfallswinkel-Korrekturfaktors. Die Variation der Kollektoreintrittstemperatur sowie die Konstanz des Volumenstroms entsprechen der Vorgehensweise nach DIN 4757, Teil 4.

Die Anforderungen an die Testsequenzen mit hoher Bestrahlungsstärke sind in Tab. 1 zusammengestellt.

	HIT0	HIT1 bis HIT4
Kollektoreintrittstemperatur	$0 < (\bar{\vartheta}_i - \bar{\vartheta}_{amb}) < 3K$ $\sigma(\vartheta_i) < 0.1K$	$\bar{\vartheta}_i = \bar{\vartheta}_1 \dots \bar{\vartheta}_4$ dabei sollen die Temperaturen über den gesamten Arbeitsbereich des Kollektors gewählt werden. $\sigma(\vartheta_i) < 0.1K$
Bestrahlungsstärke	$\bar{E}_{hem} > 500 \text{ W / m}^2$	
Meßdauer	mindestens 2 h	
Einfallswinkel der Solarstrahlung	Für HIT0 und mindestens eine der Sequenzen HIT1 bis HIT4 soll der Einfallswinkel Θ den gesamten Bereich von 20° bis 70° durchlaufen	
Windgeschwindigkeit	$2 \text{ m/s} < \bar{v}_w < 4 \text{ m/s}$	

Tab. 1: Anforderungen an die Testsequenzen mit hoher Bestrahlungsstärke

3 Vergleich des DCT-Verfahrens mit dem stationären Kollektortestverfahren nach DIN 4757, Teil 4

Beim stationären Kollektortestverfahren nach DIN 4757, Teil 4 werden aus den Meßdaten analog zum DCT-Verfahren die Kennwerte η_0 , $F'k_1$ und $F'k_2$ in Bezug auf die Aperturfläche bestimmt. Diese Kennwerte werden auch auf dem Markt zum Vergleich von Kollektoren verwendet. Eine Erweiterung der DIN 4757, Teil 4 um das DCT-Verfahren - wie derzeit in den entsprechenden Normungs-Gremien diskutiert - setzt voraus, daß vergleichbare Ergebnisse in Form der o.g. Kennwerte ermittelt werden. Aus diesem Grund wurden für eine Auswahl von Kollektoren die gewonnenen Meßdaten nach beiden Methoden ausgewertet.

Kollektor	Aperturfläche [m²]	Kollektortyp
K0	2.34	Flachkollektor mit selektiv beschichtetem Kupferabsorber
K1	1.79	Flachkollektor mit selektiv beschichtetem Aluminiumabsorber
K4	2.32	Flachkollektor mit selektiv beschichtetem Aluminiumabsorber
K10	1.09 (zwei Module)	Vakuumröhrenkollektor mit direktdurchströmtem, zylindrischem Absorber, doppelwandiger Vakuumröhre, und Aluminium CPC-Reflektor
K15	1.1 (zwei Module)	Vakuumröhrenkollektor mit direktdurchströmtem Kupferabsorber

Tab. 2: Untersuchte Kollektoren

Die Untersuchungen wurden anhand von Meßdaten für verschiedene Kollektortypen durchgeführt. Bei den Messungen wurden die o.g. Bedingungen für die sogenannten High Irradiance Tests eingehalten. Zusätzlich ist anzumerken, daß die Messungen an je sechs Tagen mit weitgehend wolkenfreiem Himmel durchgeführt wurden, so daß aus denselben

Meßdaten auch Meßpunkte zur Auswertung nach DIN 4757, Teil 4 gewonnen werden konnten.

In Tab. 2 sind die Kollektortypen aufgelistet, an denen experimentelle Untersuchungen durchgeführt wurden.

Die für die jeweiligen Kollektoren ermittelten Kennwerte sowie der Kollektorwirkungsgrad bei Betriebskoeffizienten von $\Omega'=0.05$ (K m²)/W bzw. 0.1 (K m²)/W sind in Tab. 3 ($E_{\text{hem}}=800$ W/m²) dargestellt.

Kollektor	Verfahren	η_0	$F'k_1$	$F'k_2$	$\eta_{0.05}$	$\eta_{0.1}$
K0	DCT	0.759	3.316	0.017	0.559	0.291
	DIN	0.747	2.863	0.023	0.558	0.277
K1	DCT	0.789	3.996	0.014	0.561	0.277
	DIN	0.788	4.377	0.011	0.547	0.262
K4	DCT	0.793	3.666	0.012	0.586	0.330
	DIN	0.791	3.735	0.011	0.582	0.330
K10	DCT	0.563	0.453	0.008	0.524	0.454
	DIN	0.557	0.542	0.006	0.518	0.455
K15	DCT	0.736	0.900	0.008	0.675	0.582
	DIN	0.748	1.299	0.005	0.673	0.578

Tab. 3: Vergleich der Testresultate nach dem DCT-Verfahren und dem stationären Kollektortestverfahren nach DIN 4757, Teil 4 für fünf Kollektoren

Die maximale Abweichung beim Kennwert η_0 beträgt 1.2 % (absolut). Für Wärmedurchgangskoeffizienten zeigen sich größere Abweichungen bei den zwei Hilfsgrößen $F'k_1$ und $F'k_2$. Dabei ist zu beobachten, daß höhere $F'k_1$ mit niedrigeren $F'k_2$ einhergehen und umgekehrt, d.h. die schlechte Bestimmung dieser Größen ist durch Korrelationseffekte zu begründen. Um diese Abweichungen zu beurteilen wurde anhand der Kenngrößen der Kollektorwirkungsgrad für Betriebskoeffizienten von $\Omega'=0.05$ (K m²)/W bzw. 0.1 (K m²)/W berechnet. Dies zeigt nun, daß im Bereich bis $\Omega'=0.1$ (K m²)/W die Abweichung des Wirkungsgrads ebenfalls unter 1.5 % (absolut) bleibt. Es sei hier angemerkt, daß die Korrelation der zwei Hilfsgrößen zur Berechnung des effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten auch bei den stationären Kollektortestverfahren beobachtet wird und diesem Effekt nur durch Messungen bei Temperaturen bis hin zur Stagnations-temperatur begegnet werden kann.

Generell liegt die Übereinstimmung beim Vergleich der Ergebnisse in dem Genauigkeitsbereich der allgemein bei Kollektortests erzielt werden kann (z.B. beim wiederholten Test ein und desselben Kollektors) und ist somit ausreichend.

4 Beurteilung des Verfahrens

Das DCT-Verfahren stellt eine interessante Alternative zu den stationären Kollektortestverfahren dar. Durch die Verwendung von modellgestützten Auswerteverfahren kann auf die Konstanz der Meßgrößen während des Tests weitgehend verzichtet werden. Die wesentlichen Vorteile des Verfahrens sind:

- Eine Verkürzung der Meßzeit für einen Kollektortest auf ca. die Hälfte.

- Eine vollständigere Beschreibung des thermischen Verhaltens des Kollektors durch Berücksichtigung der dynamischen Effekte.
- Das Verfahren kann auch zu *in situ* Messungen an installierten Kollektoren angewendet werden.

Für die Anwendung des Verfahrens zum Außentest von Kollektoren an Prüfstellen wurde eine Testprozedur vorgeschlagen und experimentell erprobt. Die Ergebnisse zeigen, daß das DCT-Verfahren eine leistungsfähige Alternative zu den herkömmlichen Verfahren darstellt. Ein Vergleich mit Kennwerten die mit dem DCT-Verfahren und dem stationären Kollektortestverfahren nach DIN 4757, Teil 4 bestimmt wurden, ergab Abweichungen unter 1.5 % über den gesamten relevanten Kennlinienbereich.

Mit dem DCT-Verfahren konnten für Vakuumröhrenkollektoren auch die Verläufe der Einfallswinkel-Korrekturfaktoren in transversaler und longitudinaler Richtung bestimmt werden. Die Leistung der Kollektoren kann hierdurch exakter mit entsprechenden Simulationsprogrammen nachgebildet werden.

Zum derzeitigen Stand liegt dem CEN ein von Schweden vorbereiteter Normentwurf für das DCT-Verfahren vor. Die vorgeschlagene Testprozedur entspricht weitgehend der oben beschriebenen. Für den Fall, daß abschließende Entwicklungsarbeiten am Verfahren noch durchgeführt werden und eine internationale Validierung stattfindet, ist eine Verabschiedung dieses Normenteils sehr zu begrüßen, da das Verfahren in Mitteleuropa eine starke Verkürzung der Meßzeiten mit sich bringt und für nordeuropäisches Klima einen Außentest erst möglich macht.

5 Literatur

- /1/ DIN 4757-4 (Neufassung): Solarthermische Anlagen - Sonnenkollektoren - Teil 4: Bestimmung von Wirkungsgrad, Wärmekapazität und Druckabfall, DIN e.V., Berlin, 1995
- /2/ ISO 9806-1: Thermal performance tests for solar collectors - Glazed liquid heating collectors, Geneva, Switzerland, 1995
- /3/ Th. Pauschinger, B. Perers: Procedure for Testing Solar Collectors under Non-Stationary Conditions, IEA Task XIV, Dynamic Component and System Testing Group, Internal Report, May 94